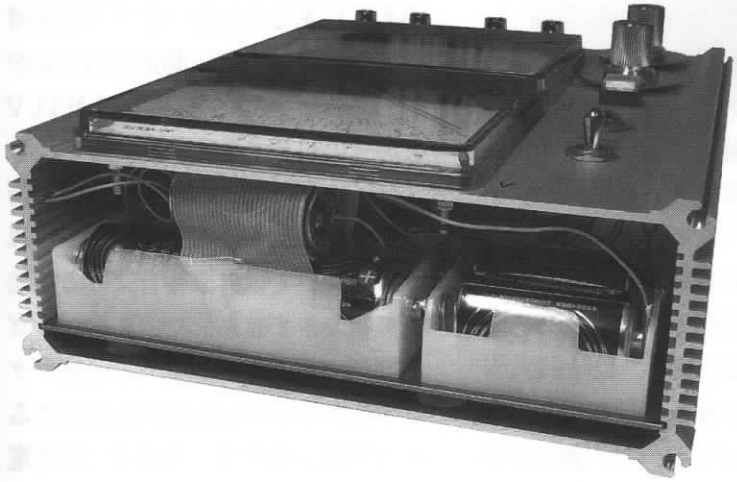
管球アンプ向け音声帯域専用超ハイ・インピーダンス入力の測定器を作る

●入力容量10pF，入力抵抗10MΩを目指して



是枝 重治

ハイ・インピーダンス回路を簡単に測定できる計測器を作りました．長くなりますから，2回に分けてお話しします．

これはむかしから必要性を感じていたものですが，9月号でご紹介したファーガソン・アンプの追試で痛感しました．せっかくの機会ですから，今後のためにも音声帯域専用計測器を自作しようと思ったのです．横河電機の1mA計がいくつか残っていたのです．ふつうは100μA計が使いやすいのですが，理由があるのでしょう．どれも指針のバランスや直線性は文句なく，受け入れ基準の厳しさがわかります．

周波数特性はプローブで変わる

まず基礎的なお話ですが，ハイ・インピーダンス回路はオシロスコープに減衰プローブを装着して測定することが定石です．

イマドキのオシロは極めて多機能で，電圧計測も正確ですから，ファーガソン・アンプのときはそうしました．まあ，それがふつうです．オシロスコープのプローブの取り扱いは複雑で多岐に渡るので，一口にはいえませんが，でも真空管アンプの電圧や波形の観測に限ると，要点はだいぶ整理されます．

ハイ・インピーダンス回路の測定は一筋縄ではいきません．いくらオシロスコープの帯域が350MHzだといっても，そのことと実際はぜんぜん別なので．レクロイHDO-4034についているプローブPP018は500MHz帯域で10PFですが，これでも信号源インピーダンスが2MΩですと，完全に平坦なのは4kHzくらいまでです．

アクティブ・プローブですと1pF以下ですが，入力抵抗は1MΩなので，ぜんぜん足りません．高圧差動プローブでやっと8MΩ近辺です．むかしカソード・フォロア・プローブの“まねごと品”を作ったこともありましたが，これがいちばん現実的です．サブミニチュア管で作れば小型化できます．何をしても壊れませんし，管球アンプには最適です．岩通も作っていたと思います．

入力インピーダンスは10pF，10MΩが目標

いろいろ考えたのですが，入力容量10pFで10MΩ程度の電圧計で

したら作れそうです．これは極めて実用的で，飢餓回路でも4kHzまでは信頼できます．

増幅系はオペアンプで簡単にすませるつもりですが，アクティブ・プローブ同様に，オーバロードが不安です．保護回路がないと，何が起きてもおかしくありません．入力直流は遮断されていても，高圧回路につなぐと充電電流で瞬間的に壊れると思います．

考えつく保護回路は試しましたが，入力端200MΩではどれもいけませんでした．これが1MΩ入力でしたらなんとでもなりますが．

自作の計測器であれこれ欲張ると失敗しますから，測定時のみ信号が加わるようにしました．電流計は1mA計ですから，オペアンプ駆動ならばこれを壊す危険は少ないと思います．また，動作状況がわかりやすいように自照式押しボタン・スイッチを使いました．

でも，かならずや誤ってオペアンプを飛ばすことがあると思い，そこで容易に交換できるようにICソケットを使いました．ソケットを使う計測器は多いものです．

全体のコンストラクションは，整備性を考えて決めました．回路部分は引き出せるようにしてコネクタをつけました．本機の仕様は以下のようなものです．

(1) 2チャネル独立，別計器
(2) 入力インピーダンス10MΩ+10pF前後
(3) DC耐圧1200V
(4) 感度は0.1Vから300V
(5) 計器表示は全レンジで音声帯域内平坦
(6) 外部出力付き

チャネルは2つ，帯域制限は必要作る以上は最低でも2チャネルは欲しいものです．また外部モニタ出力は必要です．300Vレンジは出力変成器1次側を見るときは必要になりますし，送信管アンプではDC耐圧1.2kVは必須条件です．

利得が大幅に異なる回路を同時に測定することが多いので，感度はそれぞれ設定できることが大事です．

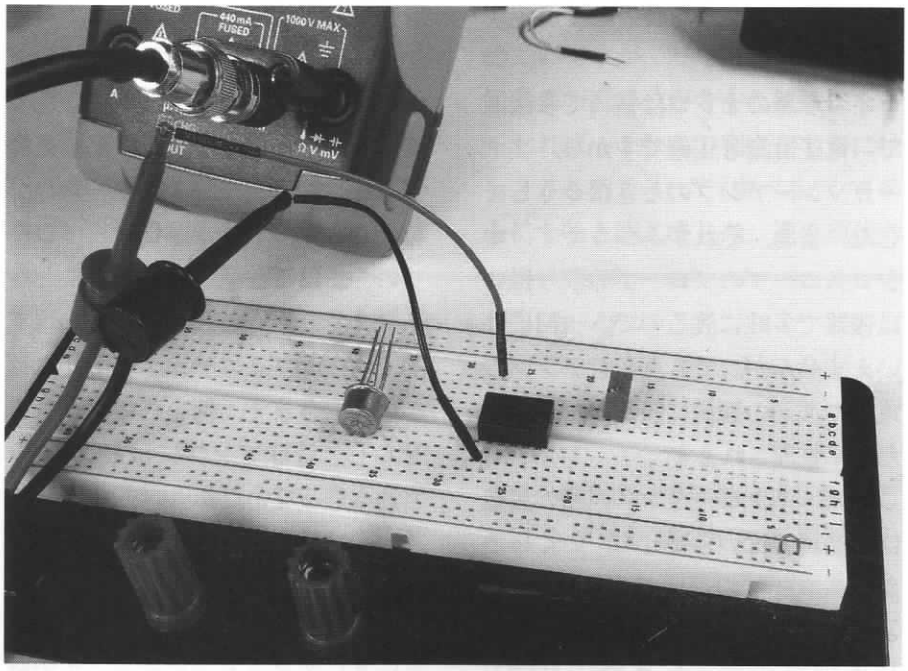
測定器を同時運用できると，たいへん効率が上昇します．でも，これは私自身の都合かもしれません．20年前から右手右足が不自由で，測定のとき素早くテスター棒やプローブを動かすことができないのです．ステレオ・アンプではテスターだけでも3～4台は必要ですし，オシロは4チャネルでも不足することがあります．

手持ちのアナログ・テスターは3台，それとは別にDMMもあります．いちばん使うのはこのあたりでしょうか．シンプソン260テスターは常にハンガーにぶら下がっています．手もとにあるのは古いシリーズ8です．整流直後の電圧測定にはこれが適していますが，DCレンジが1kVというのがとても残念です．

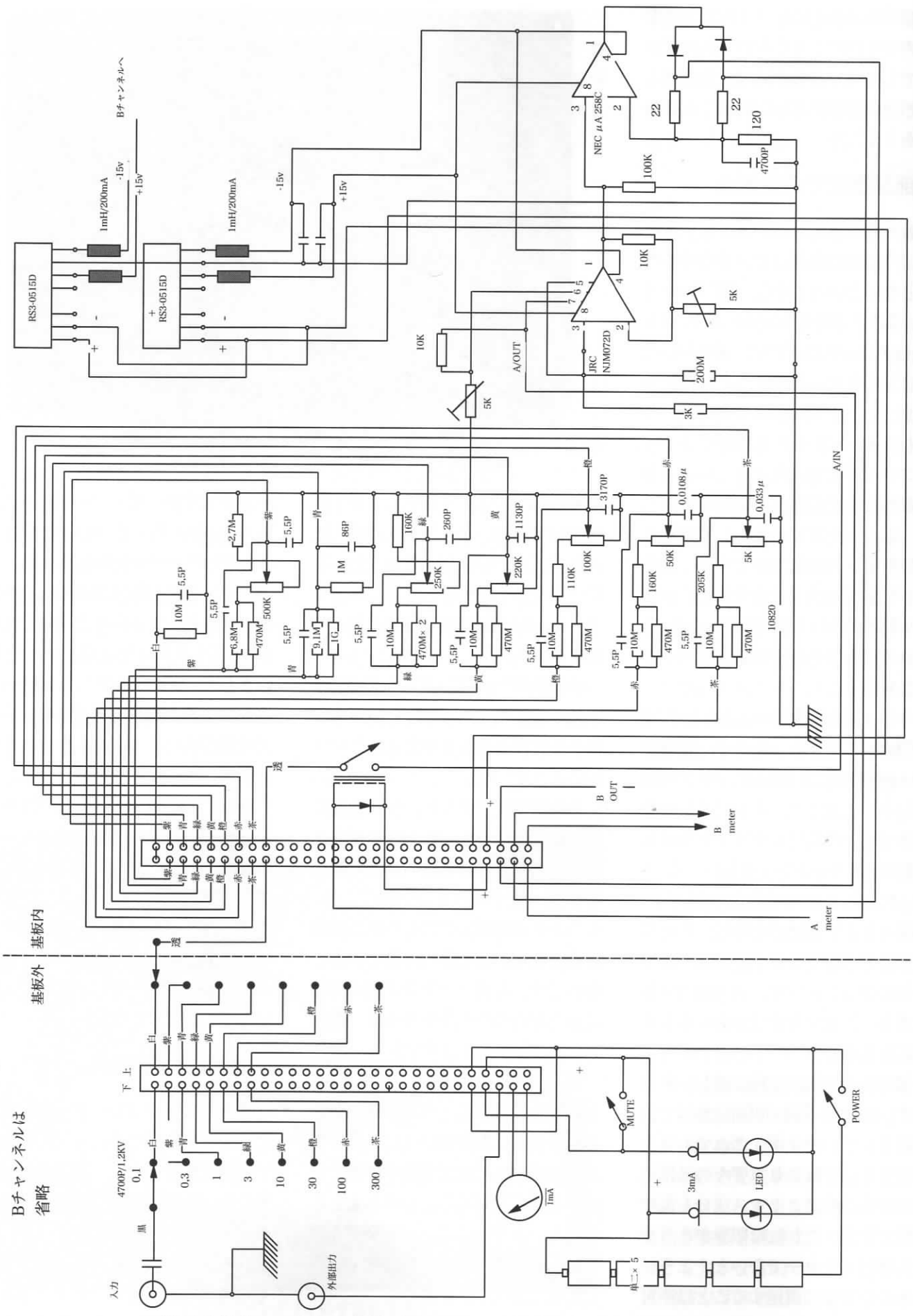
メータ指示部の帯域制限は音声帯域用途ではたいへん重要で，1V以下のレンジでは外来雑音による誤差は無視できません．たとえばアンプを調整するときはシャーシの裏ブタはずしますが，増幅回路が露出するので問題が出ます．高周波の雑音電圧が信号電圧と相乗平均されて，表示を狂わせます．このあたりは帯域の広いHP3400Aでとても困ったことでした．

仮に1kHzの信号電圧が0.01Vあり，10MHzまでの外来高周波雑音も0.01Vだったとしましょう．それぞれの周波数に対するインピーダンスの相違で，こういうことはしばしば起きることです．適切に帯域制限されている電圧計では0.01Vと表示されますが，10MHzの電圧計では指示値は0.014Vになります．イコライザ・カーブの測定ではこれは致命的です．

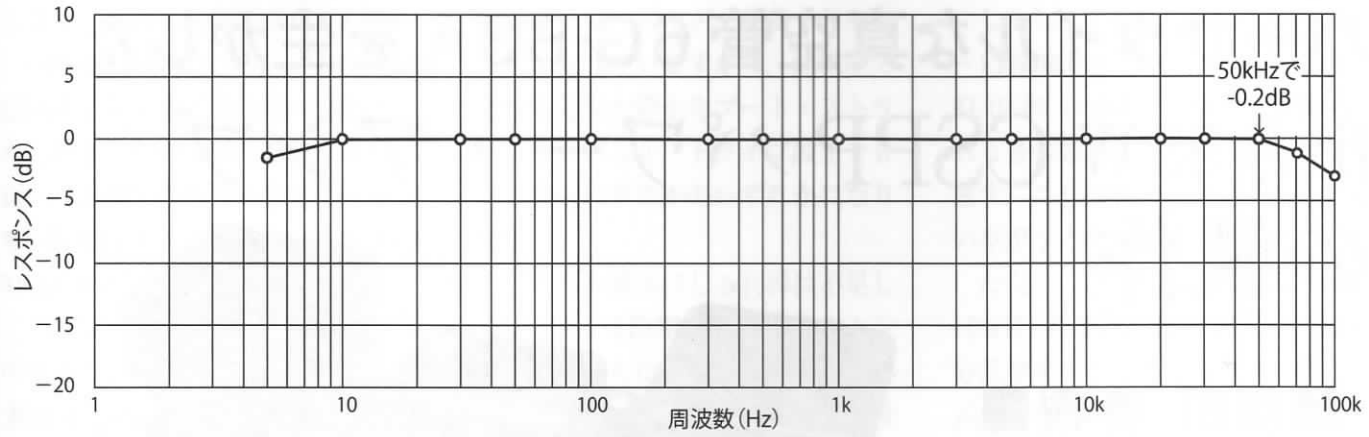
外部出力を歪率計に接続して，ハイ・インピーダンス回路のひずみ率と信号波形を観測できるようにすることも大きな目的でした．そのために残留ひずみが0.01%以下であればベストです．AA5001の残留雑



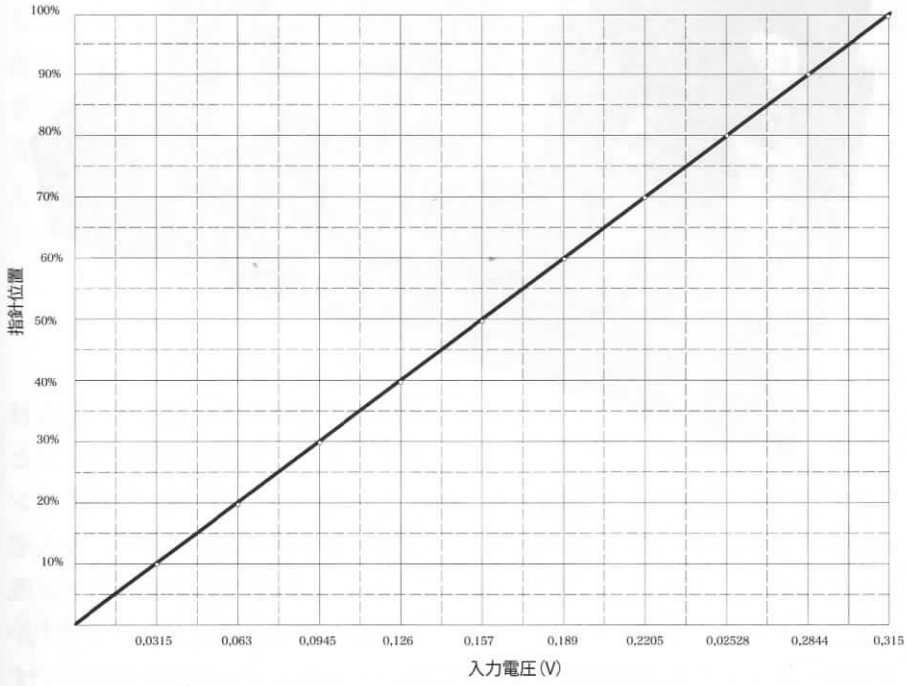
●ブレッド・ボードに載っているのはテレダインの宇宙航空用リレー（左）と松下通信の高周波リレー（右）．松下から選別して使った



〈第1図〉管球アンプ用のハイ入力インピーダンス電圧計の全回路図(片チャネルのみ)



〈第2図〉メータ部分の周波数特性．50kHzで0.2dB



〈第3図〉フル・スケールに必要な0.315Vを10等分して指針の位置をプロット

ません．直線性を確保し，フル・スケール状態で全回路で200mAあればよい，とわかりました．ですから，電源回路の部品は200mAを前提に決めたのです．

減衰器はレンジごとに複数の抵抗で構成しましたが，全体の抵抗がなるべく10MΩになるようにするのです．付記すると，抵抗の数値とはあくまで直流帯域でのことで，計測器では大事なことです．

0.01%の箔抵抗で，100kΩを越すようなものはほとんど存在しません．蛇足ながら，箔抵抗の用途は限られますし，万能とはほど遠い性質を持ちます．汎用部品で作るわけですから，温度係数や抵抗値の機械的安定性には目を瞑って，20回転のトリマーを多用しました．

外部出力オペアンプは入力回路オペアンプと並列に置いた方がよさそうで，そのためにデュアル・タイプのオペアンプを使ったのです．

全回路図は**第1図**のとおりです．

まず実動状態で入力インピーダンスがどの程度あるかを測ってみました．直列に実測19.25MΩの抵抗を接続して50Hzの信号を入れ，実測202.3MΩの入力抵抗に接続して，何も入れないときとの出力電圧の減衰比を測定したのです．測定器誤差を無視して比率0.91ですから200MΩを維持しているようです．

今回は減衰器も増幅回路もブレッド・ボード上にすべてを組み，その段階ですべての定数を決め，それから，これをどう実装するかを考えたのです．

ユニバーサル基板を溝に差し込んで使えるように，ケースはタカチのAWA型を使いました．本機は減衰器部分ができれば完成したのも同然です．ユニバーサル基板は差しこんでいるだけですから，すぐ抜き取ることができます．減衰器部に多回転の半固定抵抗を使っていますし，ケース内に入れると高域の特性が変わるので，引き抜いて調整できることが大事なのです．

基板のコネクタは50年以上前からある古いタイプで，QUAD33プリもこれでした．取りあえず接点の接触抵抗値を実測して確認しました．HPの微少抵抗計は，校正はしていませんが，10mΩ精度1%の厚膜抵抗を測ってほぼ正確に表示されることを確認しました．将来ここで接触不良が起きることは確実ですが，いまの時点で基板の接点抵抗は5mΩ前後に分布していました．

まだ完成したとはいいがたい部分があるので，次号で修正するかも知れません．実験回路でのメータ部分の周波数特性と直線性は**第2，3図**のとおりです．